

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公告

⑫ 特 許 公 報 (B2)

平5-7659

⑮ Int. Cl.³

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公告 平成5年(1993)1月29日

G 01 P 5/10

H

8708-2F

発明の数 4 (全21頁)

⑯ 発明の名称 流速センサ

審 判 平1-19410

⑰ 特 願 昭58-244964

⑱ 公 開 昭60-142268

⑲ 出 願 昭58(1983)12月27日

⑳ 昭60(1985)7月27日

⑳ 発 明 者 ロバート・ジー・ジョ ンソン アメリカ合衆国ミネソタ州ミネアポリスマーチサークル第12814番地

㉑ 発 明 者 ロバート・イー・ヒガ シ アメリカ合衆国ミネソタ州ミネアポリスサウスイースト第8番ストリート第810番地 アパートメント20

㉒ 発 明 者 フイリップ・ジェイ・ポーレエ アメリカ合衆国ミネソタ州ミネアポリスアルドリッチアベニューサウス第4456番地

㉓ 出 願 人 山武ハネウエル株式会社 東京都渋谷区渋谷2丁目12番19号

㉔ 代 理 人 弁理士 松下 義治

審判の合議体 審判長 官 本 昭 男 審判官 奥 村 寿 一 審判官 上 原 徹

㉕ 参 考 文 献 特開 昭56-18381 (JP, A) 実開 昭50-61080 (JP, U)

1

⑮ 特許請求の範囲

1 結晶面(100)と結晶軸〔110〕を有し、かつ、最上表面に形成されてなる空気スペースを有するシリコン半導体基板と、

一対の熱感知センサの一方とヒータの一部とを含み、薄膜の絶縁層により包まれてなる薄膜部材であつて、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるとともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される第1の薄膜部材と、

一対の熱感知センサの他方と上記ヒータの残部とを含み、薄膜の絶縁層により包まれてなる薄膜部材であつて、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるとともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される第2の薄膜部材と、
を具備するとともに、

2

上記一対の薄膜の熱感知センサは、上記ヒータを挟んで位置して成ることを特徴とする流速センサ。

2 薄膜の絶縁層は、窒化シリコンから成ることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の流速センサ。

3 結晶面(100)と結晶軸〔110〕を有し、かつ、最上表面に形成されてなる空気スペースを有するシリコン半導体基板と、

一対の熱感知センサの一方とヒータの一部とを含み、薄膜の絶縁層により包まれてなる薄膜部材であつて、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるとともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される第1の薄膜部材と、

一対の熱感知センサの他方と上記ヒータの残部とを含み、薄膜の絶縁層により包まれてなる薄膜部材であつて、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるとともに上記空気

3

スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される第2の薄膜部材と、

上記第1および第2の薄膜部材同士を連結する連結部材と、
を具備するとともに、

上記一对の薄膜の熱感知センサは、上記ヒータを挟んで位置して成ることを特徴とする流速センサ。

4 薄膜の絶縁層は、窒化シリコンから成ることを特徴とする特許請求の範囲第3項記載の流速センサ。

5 結晶面(100)と結晶軸〔110〕を有し、かつ、最上表面に形成されてなる空気スペースを有するシリコン半導体基板と、

上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるときともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される薄膜のヒータと、

上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるときともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される一对の薄膜の熱感知センサと、

上記半導体基板に設けられる周囲温度を検出するための比較抵抗素子と、

この比較抵抗素子と上記薄膜のヒータとを含むブリッジ回路を制御するための電子回路を具備し、

上記一对の薄膜の熱感知センサの各々は上記ヒータの対向する両側面に配置され、

上記ヒータは、上記電子回路により、周囲温度より一定の高い温度で駆動されることを特徴とする流速センサ。

6 結晶面(100)と結晶軸〔110〕を有し、かつ、最上表面に形成されてなる空気スペースを有するシリコン半導体基板と、

薄膜の絶縁層により包まれて薄膜部材を形成し、更に、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるときともに上記空気スペースに位置するように、上記薄膜部材の少なくと

4

も一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される薄膜のヒータと、

薄膜の絶縁層により包まれて薄膜部材を形成し、更に、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるときともに上記空気スペースに位置するように、上記薄膜部材の少なくとも一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される一对の薄膜の熱感知センサと、

上記半導体基板に設けられる周囲温度を検出するための比較抵抗素子と、

この比較抵抗素子と上記薄膜のヒータとを含むブリッジ回路を制御するための電子回路を具備し、

上記一对の薄膜の熱感知センサの各々は上記ヒータの対向する両側面に配置され、

上記ヒータは、上記電子回路により、周囲温度より一定の高い温度で駆動されることを特徴とする流速センサ。

発明の詳細な説明

本発明は空気の流れ速度を測定する流速センサに関する。市販されている空気の流れの中にそう入する長いプローブの先に、1本の熱線がサーミスタを配置するものである。これは、空気の流れによる冷却効果によつて引き起される温度低下と、それにともなう電気抵抗値の変化により空気の流れ速度を測定するものである。こういうデバイス構成であるからセンサエレメントは空気の流れにさらされるので、破損や汚れを受け易いのである。しかもこの空冷による温度変化は全く直線性がないため、得られる電気信号を電子回路により、リニアライズすることが必要となる。さらにこれらは高価であり、量産には適さない。

本発明に関連しているものとして、次のような市販されている質量流量センサがある。このセンサは、空気やその他の測定ガスが通りぬける金属管と、この金属管の1区域を抵抗加熱する変圧器と、この区域に装着されている2ケの大きなヒートシンクと、この熱区域の中心とヒートシンク間の熱区域の中間に対称的に金属に取付けられる2ケの熱電対から構成される。金属管を通してこの空気の流れが、上流にある熱電対を冷やし、下流にある熱電対を熱する。変圧器が一定の電力で

駆動されているとき、この熱電対の出力電圧の差が質量流量の測定のめやすとなる。これはかなり電力を必要とする大きな装置である。大きなダクトの内や、屋外での流量測定には適さないし、高価であり量産もできない。

したがって、次のような特性を有する流速センサもしくは質量流量センサと、これに関連する信号処理回路が必要とされている。寿命が長く、メンテナンスフリーで、小型で、低消費電力で、広範囲な分野へ簡単に適用でき、大きな出力信号を有し、そして広い速度レンジにわたって直線性があるかあるいは容易に直線化できる出力特性を有するようなものである。更に量産が可能で、低価格なものでなければならない。

文献にはこれらの要求に関連して、流速センサを改善しようとなされたいくつかの試みが示されている。これらの試みは、以下に述べるように、一般的には、焦電材料は、シリコンとその半導体特性を利用しようとするものである。これらの試みはいくつかの点で技術的な改善をもたらしたが、現在の流速センサとして求められている沢山の特性に関して、いまだ不満足なものである。本発明は、いかなる従来技術と比べても大巾にこれらの要求を満足するように、技術的に進歩している。次に、よく知られている最も関連が深い従来技術について述べることにする。

ヒュイジング (*1) らが発明した流速センサは、シリコンチップの両端近傍に埋め込まれた拡散型トランジスタからなる同一の2つの温度検知素子と、これらの中薪心に配置されシリコンチップを空気温度により45℃熱するための拡散型トランジスタからなるヒータ素子から構成される。空気が流れると流れの上流に位置する温度検知素子は、下流に位置する温度検知素子よりもわずかに冷やされ、この2つの温度検知素子の温度差が電流の差になり、電圧に変換されて空気の流速が測定される。この温度検知素子は、感知できる程度の温度差を実現するために、チップの対向する両端に配置させなくてはならないが、それでも生ずる温度差は小さく、0~50cm/秒の速度範囲で0~0.2℃以下の温度変化にすぎない。

*1 J. H. Huijsing, et al : IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-29, No. 1, pp.133-136, January, 1982

バツブツテン (*2) らが発明した流速センサは、シリコンチップの向い合う各4辺上に埋め込まれた同一の拡散型抵抗素子から構成される。すべての抵抗素子は自己発熱し、これによりシリコンチップは流れてくる空気の温度によりかなり熱せられる。抵抗素子は電気的な2重ブリッジ回路で駆動される。空気の流れがないとき、すべての抵抗素子は同一温度になるので、2重ブリッジ回路は電気的にバランスする。空気の流れがあるとき、流れに対して垂直な上流及び下流の抵抗素子は、流れに対して平行な両側の抵抗素子より冷やされることになる。この温度差が2重ブリッジのバランスをくずし、空気の流れ速度が測定される。

*2 A. F. P. Van Putten, et al : Electronics Letters, Vol.10, No. 21, pp.425 - 426, October, 1974

マリン (*3) らが発明した質量流量センサは、大きなシリコン細片上の拡散型抵抗素子からなる2つのセンサと、そのセンサの間の中心に配置される拡散型のヒータ素子から構成される。この技術は市販されている金属管を熱するタイプの質量流量センサに類似している。空気の流れにより、流れの下流に位置するセンサは熱せられ上流に位置するセンサは冷やされるので、これらのセンサの温度の差がセンサ両端に生ずる電圧の差をもたらす、質量流量が測定される。

*3 K. Malin, et al : IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol.21, No. 8, January, 1979

ラハナマイ (*4) らは、結晶学的に配置される磨かれた単結晶のタンタル酸リチウムの薄い板の背面全面に金属薄膜を付着させ、表面中心には薄膜状に付着させたヒータ抵抗素子を配置し、これから同じ距離離れて配置される2つの薄膜電極とから構成されるセンサを開示している。ここでタンタル酸リチウムの大きさは、長さ8mm、巾4mm、最小板厚は0.06mmである。文献に述べられているように、この板の下を空気が流れるようにするために、この板の両端を大きなネジ頭の上に支持させている。上流と下流に位置する2つの電極は、背面の電極面との間で分離した同一のコンデンサを構成し、温度検知用のコンデンサとして働く。動作は、例えば2~10Hzのような低い周波

数の電圧でヒータ素子を駆動することで、ヒータ素子を、流れる空気の温度に対して周期的に熱する。センサ素子も、タンタル酸リチウムと通しての熱伝導により、これに対応して周期的に熱せられることになる。このタンタル酸リチウムは焦電材料であることから温度に対応して分極を生ずることになるが、空気の流れがないときには、2つのセンサに発生する周期的な分極電圧は同一のものとなる。従つて空気の流れがないときの2つのセンサの間の電圧の差は0となる。文献でも述べられているように、空気の流れがあるとき、上流に位置するセンサ素子は下流に位置するセンサ素子よりも冷やされることになるので、これらのセンサの温度の差が電圧の差をもたらし流速が測定される。

* 4 H. Rahnamai, et al : paper presented at the 1980 International Electron Devices Society of IEEE, Wastington D.C., pp.680-684, December 8-10, 1980

前述したように、これらの試みはいくつかの点で技術的な改善をもたらしたが、現在のセンサとして求められている沢山の特性に関しては、いまだ不満足なものである。本発明は、これらの要求を十分満足すべく技術を進歩させたものである。

本願の第1の発明は、熱伝導率の比較的小さい薄膜の絶縁層で熱感知センサとヒータとを包んだ2つの薄膜部材を、半導体基板の表面にエッチングにより形成された空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持されることにより、上記基板と非接触状態にして、かつ、極めて隣接して配置し得る構成としたものである。

次に、第2の発明は、上記第1の発明の改良に係り、第1および第2の薄膜部材を同一平面上に保つべく連結取段を設けた構成としたものである。

更に、第3および第4の発明は、薄膜のヒータ、一對の薄膜の熱感知センサに加えて、周囲の温度をモニタするため、シリコン基板とヒートシンクとした周囲温度検出手段と、ブリッジ回路制御手段を設け、薄膜のヒータを周囲温度より一定の

高い温度で駆動し得る構成としたものである。本発明の具体的な実施例として、基板20は半導体、その中でも特に精密なエッチング技術を用

コンが選択される。そしてこの基板上に形成される格子形状をなくす全く同一の測温抵抗素子は薄膜の熱感知センサ22, 24として働き、この2個のセンサの中央部に配置される格子形状をなくす発熱抵抗素子は薄膜のヒータ26として働く。熱感知センサ22, 24及びヒータ26としては、鉄とニッケルの合金、例えば80%のニッケルと20%の鉄からなるパーマロイといったものを使うことが適している。これら熱感知センサ22, 24及びヒータ26は、例えば窒化シリコンからなる薄膜の絶縁層28, 39により包まれて、薄膜部材を形成する。第1図及び第2図の実施例に示すように、センサは、ヒータ26の半分と熱感知センサ22からなる薄膜部材32と、ヒータ26の半分と熱感知センサ24からなる薄膜部材34とから構成され、巾150 μ 長さ400 μ の大きさを有する。

更に本発明で開示するセンサは、熱感知センサ22, 24及びヒータ26を効果的に囲む空気スペース30を有する。この空気スペース30はシリコンの表面36に微細構造をもつて形成される。すなわち熱感知センサ22, 24及びヒータ26は、約0.08~0.12 μ の厚さで線間に約5 μ の空間を有する巾5 μ の緩からなり、しかもこれらは全体の厚さが約0.8 μ 以下になるような窒化シリコンの薄い膜によつて包まれるように構成される。そしてエッチングによりくぼみである空気スペース30が、薄膜部材32, 34の下にシリコン基板20の中に125 μ の深さで正確に形成される。薄膜部材32, 34は、空気スペース30の1つまたはそれ以上のエッチにおいて、シリコンの基板20の表面36の最上部に接続される。例えば第3図に示すように、薄膜部材32, 34は、空気スペース30を架橋するように、あるいは第3A図に示すように片持ちばりで構成することもできる。

窒化シリコンは非常に優れた熱的絶縁体である。薄膜部材32, 34を包む窒化シリコンの膜が極めて薄くかつ熱的絶縁もよいことから、窒化シリコン膜によるヒータ26の熱の損失は極めて小さく、ヒータ26から熱感知センサ22, 24に伝わる熱のほとんどがヒータ26を取り囲む空気を通して伝えられることになる。すなわち窒化シリコン膜の熱伝導率が小さいことから、熱感

知センサ22と24をヒータ266に極めて隣接して配置することができ、ヒータ26からの熱のほとんどは窒化シリコン膜を通らずにヒータ26を取り囲む空気を通して伝えられることになる。そして、ヒータ26近傍の空气中に効果的に強固にささえられた熱感知センサ22、24は、ヒータ26の面とその近傍の空気の温度を測定するプローブとして働くことになる。

空気の流速を検出するという本発明の原理を第2図に基いて説明する。ヒータ26は、基板20の温度より200℃高くなる一定の温度に加熱される。このシリコンの基板20の温度は流れている空気の温度とほとんど同じものである。具体的には、シリコンの基板20がTO-100タイプのメタルヘッドもしくはサーディブパッケージのようなヒートシンクに搭載されている場合は、シリコンの基板20の温度は流れている空気の温度より0.5℃程度高くなるにすぎない。又、ヒータ26の温度を流れる空気の温度より200℃高く保つといつても0.01Wより小さな電力が要求されるにすぎない。

ヒータ26からの熱伝導の大部分は空気スペース30も含んだ周囲の空気を通して行われるが、本発明の実施例において空気の流れがないとき、熱感知センサ22と24は平均温度で約140℃(200℃の約70%)に熱せられる。すなわち、図に示すように、熱感知センサ22と24はヒータ26に対して正確に対称に配置されるので、空気の流速が0のときにはこの2つのセンサの温度は同一になり、この2つのセンサの抵抗値の差は生じない。従って0.1から1.0mAの微小測定の電流を流しても、この2つの熱感知センサに電圧の差は発生しないことになる。

空気の流れがあるときには、この実施例において上流に位置する熱感知センサ22はヒータ26へ向う空気の流れにより熱が運び去られるので冷やされ、一方、下流に位置する熱感知センサ24はヒータ26からの空気の流れによつて熱せられることになる。これによつて生ずる熱感知センサ22と24の間の抵抗値の差が電圧値の差をもたらす流速が測定される。増巾しないときのこの電圧の差は、760cm/秒の空気の流れ速度において0.1V程度のものである。

本発明においては、熱感知センサ22と24は

定電流で駆動され、前述したように空気が流れている状態のもとでの温度のバランスの変化を検出するように構成されている。なお、2つのセンサを定電圧モードで駆動するとか、定温度モードで駆動するとか、定電力モードで駆動するとかいうように、信号に生じさせるような方法であればこれに替わる他の方法で構成しても実現は可能である。

ヒータ26と熱感知センサ22、24の熱容量が極めて小さいことと、基板への接続手段である窒化シリコン膜により与えられる熱的絶縁性と、空気スペース30の存在により、本発明の応答性は測定結果によれば時定数が0.005秒と非常に速いものとする。すなわち熱感知センサ22と24は空気の流れの変化に非常に速く応答できることになる。

本発明において、ヒータ26は空気の温度に対して一定の温度となるように駆動され、熱感知センサ22と24は定電流で駆動されることから、熱感知センサ22と24の温度変化は抵抗値の変化として検知されることになる。これらの機能を実現するための回路例を第4図及び第5図に示す。第4図に示された回路はヒータ26の温度を制御するためのものであり、第5図に示された回路は熱感知センサ22と24の間の抵抗値の差に比例する信号電圧を得るためのものである。

本発明において周囲の空気の温度は、シリコンの基板20をヒートシンクとして形成される比較抵抗38によつてモニタされる。比較抵抗38は、熱感知センサ22、24及びヒータ26と同様に格子状のパーマロイによつて構成されかつシリコンの表面36上に絶縁層28と29に包まれて配置される。

本発明において周囲の空気の温度は、シリコンの基板20をヒートシンクとして形成される比較抵抗38によつてモニタされる。比較抵抗38は、熱感知センサ22、24及びヒータ26と同様に格子状のパーマロイによつて構成されかつシリコンの表面36上に絶縁層28と29に包まれて配置される。

絶縁層28と29の厚さは合わせて0.8μと非常に薄いため相対的に熱伝導がよくなることから、これらの絶縁層の垂直方向を通して、熱感知センサ22、24、ヒータ26、比較抵抗38にと熱

が出入りすることになる。比較抵抗38は絶縁層に包まれて基板20の表面3.6に直接取り付けられており、ヒータ26がまわりの温度より200℃高く熱せられていても周囲の空気の温度と0.5℃以内の範囲にある基板20の温度を容易にモニタ

5 できることになる。すなわち比較抵抗38は、基板20の温度を検知することにより、それとほとんど一致する流れる空気の温度を検知することになる。

第4図に示される温度制御回路は、ヒータ2610の温度を、比較抵抗38によつて検出される周囲温度よりも高い一定温度に保つためのホイートストンブリッジ回路46により構成される。ここで前述したように本発明の実施例では、この一定値は約200℃に設定されている。ホイートストンブリッジ回路46は、ヒータ26と抵抗40により15一辺を、比較抵抗38と抵抗42、44により一辺を構成している。アンプ48と50からなる積分回路は、出力の電位を変化させることでブリッジ回路46がバランスするように動作し、ヒータ2026によつて消費される電力を一定に保つようにする。

第5図に示す回路は、この実施例において空気の流れの上流に位置する熱感知センサ22と、下流に位置する熱感知センサ24との間の抵抗値の25差を検出するためのものである。この回路は、アンプ72からなる定電流電源部52と、アンプ68と70からなる差動増巾部54から構成される。定電流電源部52は、1辺に高インピーダンス抵抗56、58と、他辺に零調用可変抵抗6030及び熱感知センサ22、24を有するホイートストンブリッジ回路を駆動する。差動増巾部54の利得は可変抵抗62により調整される。出力端64は熱感知センサ22と24の間の抵抗値の差に比例する出力電圧する。

本実施例においては、アンプ48、50、66、72には4ケのアンプをもつLM324の各々のアンプを使用し、アンプ68と70には2ケのアンプをもつOP-10の各々のアンプを使用している。

本発明で開示するセンサの特徴の1つとしては、広いレンジの空気の流れ速度に対して、熱感知センサ22と24の感知する温度の差が大きくとれるようにと構成されている点があげられる。

この結果、空気の流れ速度の関数となる出力端64の出力が大きくとれるので、流速測定精度が著しく高められ測定も容易となる。この温度の差が大きくとれることを、本発明の具体的実施例によつて得られる第6図に示す。すなわち、空気の流れて冷やされる上流に位置する熱感知センサ22と、ヒータ26からの熱により熱せられる下流に位置する熱感知センサ24という2つのセンサの出力を結びつけることで、大きな温度差の効果10が得られるのである。この熱することと冷やすことを結びつけて大きな温度差を得るためには、

(1) 熱感知センサ22、24を空気と比較強く熱的に接触させることが必要となる。すなわち熱感知センサ22、24がシリコンの基板20から実質的に熱的に絶縁されなくてはならない。そしてこれは、薄膜部材32、34を包む窒化シリコン膜の流手方向に沿った方向の熱伝導率が比較的小さいということ、薄膜部材32、34と基板20の間に約125μの深さで正確に形成される空気スペース30により可能となる。

(2) この実施例において空気の流れの上流に位置する熱感知センサ22を大きく冷やすことが必要となる。これには熱感知センサ22の温度を高く設定する必要がある。そしてこれは、空気スペース30を介することで熱感知センサ22をシリコンの基板20から熱絶縁することと、薄膜部材32の長手に沿った方向の熱伝導率が小さいということと、ヒータ26の温度を高く設定することによつて可能となる。このヒータ26の温度が高く設定できるためにも、空気スペース30を介してヒータ26をシリコンの基板20から熱的に絶縁することと、薄膜部材32、34の長手に沿った方向の熱伝導率が小さいということが必要である。

35 (3) この実施例において空気の流れの下流に位置する熱感知センサ24を、ヒータ26からの熱を伝えることで大きく熱することが必要となる。これは空気スペース30を介することで熱感知センサ24をシリコンの基板20から熱的に絶縁することと、薄膜部材34の長手に沿った方向の熱伝導率が小さいということと、ヒータ26の温度を高く設定することによつて可能となる。このヒータ26の温度が高く設定できるためにも、空気スペース30を介してヒータ

26をシリコンの基板20から熱的に絶縁すること、薄膜部材32, 34の長手に沿った方向の熱伝導率が小さいということが必要である。

- (4) 熱感知センサ22と24の中心と、ヒータ26のエツチ部の間の距離を最適な値に選択する必要がある。

第7図には、空気の流れ速度が0のときの理想化された空気の温度分布曲線74と、空気の流れ速度がある任意の値のときの理想化された空気の温度分布曲線76と、理想的に挟ばめられた熱感知センサ22と24の最も適切な配置距離を示す。ヒータ26に対して流れの上流側は空気で冷やされることから、この温度分布曲線はこの側で距離の関数である $\Delta T1$ という値だけ下げられることになる。ここで、この $\Delta T1$ はヒータ26の上流側のエツチからD1離れた位置で最も大きくなる。一方、流れの下流側はこの流れによつて伝わる熱で距離の関数である $\Delta T2$ という値だけ温度が上がることになる。ここでこの $\Delta T2$ は、ヒータ26の下流側のエツチからD2離れた位置で最も大きくなる。D1とD2は等しい値である必要はないが、流れの速度が0のとき流速センサからの出力が0となるようにするために、流れ速度が0のときには熱感知センサ22と24の温度は等しくなくてはならない。このため本発明の望ましい実施例としては、熱感知センサ22, 24が実際には巾をもっていることを考慮し、熱感知センサ22の中心までの距離D1と熱感知センサ24の中心までの距離D2を等しくとる必要がある。これから、D1とD2が等しいという条件の下で、符号を考えなければ流速センサの出力は最大となるので、熱感知センサ22上にわたる $\Delta T1$ の平均値と、熱感知センサ24上にわたる $\Delta T2$ の平均値の合計が最大となることになる。以上のことはある適当な位置で起こることがみつけれられており、数百フィート/分の流れ速度の速度レンジにおいては、このD1(=D2)の値はヒータの巾のほぼ1/2の長さである。

従来技術による流速センサではわずかな温度差しか得られなかったのに対し、本発明では具体的数値を示すならば、860cm/秒の流れ速度におい

ては $\Delta T1$ の平均値と $\Delta T2$ の平均値の合計が約50℃と比較的大きくとれる。これは、長手方向の伝導率の小さい非常に薄い窒化シリコンの膜で薄膜部材32, 34を包んだことと、熱感知センサ22, 24及びヒータ26を空気で囲むように空気スペース30を設けたことで、熱感知センサ22, 24及びヒータ26をシリコンの基板20から熱的に絶縁できるようになったことから可能になったのである。熱感知センサ22, 24及びヒータ26の下に形成される空気スペース30の巾とくぼみの深さの寸法を正確につくるには、後述する精密エツチング技術により実現される。この空気スペース30が精度よく形成されることにより、センサチップ間の熱的絶縁性のばらつきを均一にすることができる。すなわち、センサチップ間の空気の流れに対する応答のばらつきを均一にすることができる。

従来技術では、これらのセンサエレメントは、シリコンチップのような基板に埋められるとか密着させられるとかいうような構成がとられていた。このため、センサエレメントの有意な温度差を取り出すために、センサエレメントをヒータの巾に比較して長い距離だけヒータから離す必要があった。しかしこのような従来技術で得られる温度差は、熱的な絶縁を基に構成される本発明のそれに比べ、1/100程度の小さなものにすぎないのである。

ラハナマイらの従来技術を例にとるならば、ヒータとセンサのエレメントはタンタル酸リチウム板上に付着されている。(タンタル酸リチウムの固有伝導度はシリコンのそれよりも小さいが、窒化シリコンのそれよりも70%も大きな値を示す)。ヒータとセンサのエレメントは少なくとも60 μ の厚さを有するタンタル酸リチウム板に密着されて取付けられている。この60 μ という値は、本発明の薄膜部材32, 34を包む窒化シリコン膜の厚さである0.8 μ という値に比べ75倍に厚いものである。リチウム基板に密着したヒータエレメントと、そのエツチから0~500 μ の間の距離に広がって配置されるセンサエレメントとの間の熱の伝導は、センサとヒータとの間の空気を介するものより、60 μ のリチウム基板を介するもので支配されてしまうのである。すなわち、ヒータは空気によつて効果的に取囲まれてはいないため、ヒ-

15

タからセンサへの熱の大部分はリチウム基板を通して伝わってしまうことになる。この結果、この500 μ の巾を有するセンサは、本発明に比べ、空気の流れに対してわずかな温度の値しか変化できないことになる。ここで本発明のセンサは、ヒータのエツヂから0~100 μ の間の距離に広がって配置される。

従来技術に対しての本発明のもう1つの長所は、熱感知センサ22、24及びヒータ26をシリコンの基板20から効果的に熱絶縁させるために設けられる空気スペース30である。これにより前述したように、シリコンの基板20の温度はおおよそ0.5℃以下という、ほとんど無視できる温度上昇に押えることができることになる。このため、本発明では、流速に対する出力特性は、シリコン基板とそれを支持するハウジングといったものとの間の熱的接触に全く依存しないということになる。これに対し従来技術では、センサの出力特性は取付け本体との熱的接触に大きく影響されていた。事実、ラハナマイらのセンサにおいても、出力特性は、取付け構造の方法に大きく影響されている。ヒュイジングらの従来技術においても、シリコンチップの固定台が流速に対する出力特性を悪くしていることが述べられている。パンブツテンらの従来技術においても、シリコンチップの熱的なショートを最小にするためにシリコンチップを普通に使われている200 μ から50 μ にと薄くしているが、このために固定台からの熱伝導により感度の低下を受け易くなる。マリンらの従来技術においても、熱的もろさを防ぐために長いシリコンの細片が用いられているが同様に固定台の影響を受けてしまうことになる。

本発明の2番目の長所は、広い流速レンジにわたって、熱感知センサ22と24の温度の差の直線性がよい点にある。従来技術においては、この温度の差は、流れ速度の平方根に比例している。この依存性のために、放物線的な出力特性として知られているように、流れ速度がVのときに流速がある値変化すると、2つのセンサの温度の差はその $\frac{1}{2\sqrt{V}}$ 倍だけ変化することになる。このよ

うな増分特性であるから、流速が速くなるほど変化は小さいものになってしまう。その結果、電子回路のノイズやドリフトによつて誤差を受け易く

16

なるのである。本発明は流速の変化に対しての出力特性の直線性が良好であるとともに、例えば0~1016cm/秒あるいはそれ以上の流速領域で得られる電気出力信号が増巾しないでも大きく取れるため、速い流速測定においてもドリフト等による誤差をほとんど無視できる程度にまで減らすことができる。本発明によるセンサの、流速に対するこの温度差の典型的な出力特性を第8図に示す。この図には合わせて、ヒュイジングからのセンサの特性も比較のために示してある。

具体的実施例として前述したように、本発明のセンサにおいて、ヒータ26の全抵抗値は第4図に示した回路により、任意の周囲温度において一定に保たれる。上述したような直線性のよい特性は、ヒータ26の近傍の温度分布に傾斜がある領域(第7図参照)の大部分をカバーするように十分広くまた適切に配置された熱感知センサ22と24を用いることで得られる。

このような構成にあつて、熱感知センサ22の内部エツヂ76は、ヒータ26の近接エツヂ78に極めて隣接(例えば5 μ の線巾)して配置されている。空気の流れがないとき、近接エツヂ78からこの程度離れた近傍の空気温度はほとんど近接エツヂ78の温度に一致する。具体的実施例として、熱感知センサ22と24はおおよそ100 μ の巾を有していることから、熱感知センサ22の外部エツヂ80はヒータ26の近接エツヂ78からおおよそ100 μ 離れて配置されている。空気の流れがないとき、この100 μ 程度離れた位置での空気温度は、ヒータ26の温度より周囲の空気温度すなわちシリコン基板の温度に近いものとなる(第7図参照)。このため、熱感知センサ22の外部エツヂ80は、遅い空気の流れ速度でも簡単にシリコンの基板20の温度近くに冷やされてしまう。一方、熱感知センサ22の内側部分はヒータ26により密接に熱的に結合されているので、速い空気の流れに対しても、シリコン基板の温度近くに冷やされることはなく、速い空気の流速に容易にตอบสนองする。熱感知センサ22の各々の格子部からの温度変化効果が合成されると、流れの上流に位置するこのセンサの流速に対する温度特性は、広い流速レンジにわたつてより一定なものとなる。この特性は、ほぼ従来技術の場合に相当するヒータのエツヂから離れたいかなる位置にある

単一の点素子またはライン素子による特性と、対照をなすものである。本発明の望ましい具体例により実測された熱感知センサ 2 2 の広い流速レンジにわたつてのこの直線性のある温度特性を第 6 図に示す。

流れの下流に装置する熱感知センサ 2 4 については、空気の流れによる熱伝達により抵抗値の増加が発生するが、上流に位置する熱感知センサ 2 2 の空冷による抵抗変化よりは小さいものである。しかし本発明では、熱感知センサ 2 4 の内部エツチ 8 4 とヒータ 2 6 の近接エツチ 8 6 との間隔は 5μ 、熱感知センサ 2 4 の外部エツチ 8 8 とヒータ 2 6 の近接エツチ 8 6 との間隔はおおよそ 100μ と、従来技術に比べて近接しているので、ヒータ 2 6 から熱感知センサ 2 4 への空気の流れによる熱伝導は広い流速レンジにわたつて効果的なものとなっている。主に空気スペース 3 0 によるこの効果的な熱伝達と熱感知センサ 2 4 の熱的絶縁により、広い流速レンジにわたつて、流速の増加とともに熱感知センサ 2 4 の温度が大きく上昇することになる。本発明の望ましい具体例により実測された、下流に位置する熱感知センサ 2 4 の流れ速度に対しての温度変化を第 6 図に示す。上流に位置する熱感知センサ 2 2 と、下流に位置する熱感知センサ 2 4 の流速に対する特性を合成すると、第 8 図に示す特性が得られる。この図から、ヒュイジングらの従来技術の特性カーブと比較して、広い流速レンジにわたつて直線性がある点、そして大きな信号レベルが得られる点がわかる。

本発明のセンサの流れ速度に対して大きな出力特性を有するという利点の 1 つとしては、センサ寿命を長くし乱流の影響からのがれるために流れ速度を減ずることが望まれているような分野への適用を促進させるという点がある。また本センサでは、空気の流れがシリコン基板面に平行となることと、シリコン基板面上に流れの遅い表面層が形成されるので空気の流れの速い領域は実質上この表面層から離れることになることから、薄膜の熱感知センサ 2 2、2 4 及び薄膜ヒータ 2 6 は、空気に含まれる粒子の衝突による損傷からまぬがることができるという利点もある。

第 2 図において図式的に表わした熱感知センサ 2 2、2 4 及びヒータ 2 6 を、一実施例である第

9 図に詳細に示す。開口部 8 2 は、後述するエツチングを容易とするために窒化シリコン内に刻まれる。リード部 9 2 とバーマロイ板 9 0 は、薄膜部材 3 2 と 3 4 上における対称的な熱伝達特性を保証するために対称的に作られる。この実施例では、薄膜部材 3 2 と 3 4 の大きさは、おおよそ巾 150μ 、長さ 300μ である。熱感知センサ 2 2、2 4 及びヒータ 2 6 の厚さは 0.08μ であり、熱感知センサ 2 2、2 4 の抵抗値は 740Ω で、ヒータ 2 6 の抵抗は 840Ω である。熱感知センサ 2 2、2 4 の大きさは、おおよそ巾 100μ 、長さ 175μ である。前述したように、熱感知センサ 2 2 と 2 4 はヒータ 2 6 から 1 ライン巾 (5μ) 分、離れている。すなわち、熱感知センサ 2 2 の内部エツチ 7 6 はヒータ 2 6 の近接エツチ 7 8 から 5μ 、熱感知センサ 2 4 の内部エツチ 8 4 はヒータ 2 6 の近接エツチ 8 6 から 5μ だけ離れている。本発明の他の実施例については、特に述べないならば熱感知センサ 2 2、2 4 及びヒータ 2 6 の厚さは 0.08μ であり、格子を形成する線の巾は 5μ で線間の距離は 5μ であり、この格子は 80% のニッケルと 20% の鉄からなるバーマロイで構成されているものとする。本発明に述べられている他の寸法と同様に、これらの値は実際のデバイスにおいて使われた適切なものではあるが、アプリケーションに応じて変えるべきものであるからして、これに限定するものではない。

本発明の他の実施例を第 10 図に示す。第 9 図に示される実施例と同様に、第 10 図に示す実施例も、空気スペース 3 0 を架橋する 3 2 A、3 4 A とラベル付けされた 2 つの薄膜部材から構成される。そして、分割されたヒータ 2 6 A が用いられており、薄膜部材 3 2 A 上にこのヒータ 2 6 A の半分が薄膜部材 3 4 A 上にこのヒータ 2 6 A の残り半分が配置される。センサ 2 2 A、2 4 A は、前述した熱感知センサ 2 2、2 4 より狭く、その大きさは、おおよそ巾 90μ 、長さ 175μ である。その上、センサ 2 2 A と 2 4 A は、ヒータ 2 6 A から 25μ と、前述した実施例よりも離れて配置される。すなわち、センサ 2 2 A のエツチ 7 6 A はヒータ 2 6 A のエツチ 7 8 A から 25μ 、センサ 2 4 A のエツチ 8 4 A はヒータ 2 6 A のエツチ 8 6 A から 25μ だけ離れて配置されている。この実施例では、薄膜部材 3 2 A、3 4 A の大きさはおおよ

19

巾150 μ 、長さ350 μ であり、センサ22A、24Aの抵抗値は670 Ω で、ヒータ26Aの抵抗値は840 Ω である。更に第10図の実施例においては、薄膜部材32Aと34Aは、パーマロイ板96によつて強化された連結部94により連結される。この連結部94は、薄膜部材32Aと34Aを同一平面上に保つための役割を果す。リード部92Aは、薄膜部材32A、34Aの中心部の強度を増すために、薄膜部材32A、34Aの中心線に沿つて配置される。

予備実験によれば、同じ流れ速度についてみるならば、第10図の実施例の出力は、第9図の実施例の出力より約100%も大きいものであつた。しかしながら、これらの実験において、第9図の実施例は第1図に示すようにチップの中心位置に配置させたが、一方第10図の実施例はチップの端に配置させた。そのため、第11図に示すように空気スペース30Aの上流部分が開かれるか、あるいは第12図に示すように空気スペース30Aの下流部分が開かれることになり側壁により遮られないので、空気がより流れ易くなる。第11図の配置例と第12図の配置例では、どちらもチップの中心に配置する第9図の配置例より出力特性は大きくなるのであるが、第11図の方が第12図よりもかなり大きな出力を示した。第10図の実施例が第9図の実施例より大きな出力を示した点について、配置位置の違いからきているのか、設計上の違いからきているのか、あるいはその両方が関与しているのか、いまだ判明していない。第11図の実施例においては、基板20Aの先端エツチの少なくとも一部分を取り除くという変更ができることを書き留めておく。すなわち、例えば基板20Aの部分118を線120のところまで取り除くことで、薄膜部材32Aの先端エツチの露出を大きくさせていくといったことである。そして、第11図の実施例が、チップの中心に配置された第9図の実施例よりかなり大きな出力特性を示したことについては、少なくとも以下に示す2つの観点から説明され得ることを書き留めておく。第1の点は、前述したように第11図の実施例では空気スペース30Aの上流部分が開かれるので、側壁によつて遮られない流れを受けることになるからである。このように、この薄膜部材32Aと34A、特に32Aの先端エツチ部

20

はより流れを受け易くなることになる。第2の点は、第17図に示すように、シリコン基板20Aの先端エツチから始まる自由流速包絡線37Aが、第16図に示すシリコン基板20の先端エツチから始まる自由流速包絡線37より、薄膜部材32A、34Aを高速の流れに近く置いていることがわかる。包絡線37の場合、第16図に示す薄膜部材32、34は、第17図に示す薄膜部材32A、34Aに比べ速い流れ速度に対して遠くなることから、速い流速に露出されることも少なくなる。

第13図に示す実施例では、センサ22C、24Cとヒータ26Cは、空気スペースを架橋する別々の薄膜部材上に配置されている。この実施例では、ヒータ26Cはセンサ22C、24Cの近い方のエツチから50 μ 離れて配置される。すなわち、ヒータ26Cのエツチ78Cはセンサ22Cのエツチ76Cから50 μ 、ヒータ26Cのエツチ86Cはセンサ24Cのエツチ84Cから50 μ 離れて配置される。この実施例では、センサ22C、24C及びヒータ26Cの抵抗値は1000 Ω で、大きさはおよそ巾135 μ 、長さ150 μ である。そして3つの架橋部の大きさはおよそ巾150 μ 、長さ300 μ である。パーマロイ板90Cは薄膜部材の強度を増すためと、リード部92Cからみて架橋部の両端の熱伝達特性をほぼ同じものとするために加えられる。

第13図に示すセンサの出力特性は、第9図及び第10図に示すセンサの出力特性よりかなり小さなものであつた。これは、ヒータ26Cとセンサ22C、24Cとの間を50 μ と広げたことと、センサの巾を大きくしたことでセンサとヒータとの中心線の距離が広がったことに起因していると考えられる。従つて第13図の実施例と関連づけて第7図を参照するならば、センサ22Cと24Cの中心線は適切な距離D1、D2よりかなり離れて配置されることになり、その結果、一定の流れ速度においてセンサ22Cと24Cとの間で得られる平均的温度差はかなり小さくなつてしまうのである。

第7図に関連して前述したように、1つのセンサ全体にわたつて $\Delta T1$ の平均値と、他方のセンサ全体にわたつての $\Delta T2$ の平均値の合計値を最大にするようにすることが望ましい。これは理想

的には、抵抗値は非常に小さなものとなるが非常に狭いセンサエレメントを使うことで、最も適切に実行できるであろう。しかしながら実用的な回路的考察から、センサの抵抗値は少なくとも100Ω以上は要求され、700Ωから1000Ωの間にあることが望ましいのである。この要求と、薄膜部材構造の長さにかかる実際的制限と、気流密度上の制限と、これらと関連する抵抗素子の薄膜の厚さとを結びつけると、適当な抵抗値を実現するために、センサ格子の巾は少なくとも75μは必要であるということになる。これらのことから、望ましい実施例のセンサの巾はそれ程狭くできなくて、多少の巾を有することになる。第7図に示された理想的な温度カーブ上の ΔT_1 の平均値と ΔT_2 の平均値の合計を最大にするためには、巾が75μかそれ以上という結果となつたが、センサのエッチをヒータのエッチに近づけなくてはならないため、第9図の実施例において、窒化シリコンの絶縁層を通してヒータからセンサのエッチに伝わる望ましくない熱は無視できるものではなくなる。従つて出力特性も最大となろうというものよりは小さくなつてしまう。5μというわずかなスペースにしたことにより、実測された出力特性は従来技術の3~5倍であつたが、第10図の実施例の出力特性とはほとんど同じかむしろいく分小さなものであつた。これらの考察の結果から次の結論が導き出される。実施例において、他の寸法を等しいままにして窒化シリコン膜の厚さ0.8μを厚くすると、流速に対する出力特性が大きく低下することになる。これは、厚さを増すと、これを30 通しての熱伝導が増加することで、センサはヒータにより密接に熱的に接合されてしまうことになるからである。

第13図の実施例の考えられる欠点としては、ヒータと2つのセンサが空気スペースを架橋する別々の薄膜部材上にあることから、製造過程を通しての色々な種類の物理的変形といったもので、ヒータとセンサの1部が同一平面でなくなりがちになることにある。この欠点は、第9図及び第10図の実施例では実質上無視できるものであることに注意しておく。すなわち、各々のセンサは直接同一薄膜部材上にあるヒータの一部に隣接するので、ヒータとセンサはほぼ同一平面上にあることが保証されるのである。

第14図に示す実施例において、連結部94Dによつて連結された薄膜部材32D、34Dは、各々その上にヒータ26Dとセンサ22D、24Dの半分ずつを直列に配置して、空気スペース上に架橋されている。センサ22Dと24Dの熱的バランスを保証するために、パーマロイの格子22D、24D、26Dとパーマロイ板90D、90DD及びリード部92Dは、180°の回転対称を有している。パーマロイ板90Dは、薄膜部材の中心線に沿つた強度を増すために設けられ、パーマロイ板90DDは薄膜部材の中心線に沿つた強度を増すとともに、対照的な熱伝達特性を与えるためのものである。この実施例において、空気の流れは、今まで述べた薄膜部材の横方向に沿つて合わされる実施例とは異なる、典型的には薄膜部材の流さ方向に合わされる。センサ22D、24Dは比較的狭く、各センサの半分の大きさは巾75μ、長さ135μである。ヒータ26Dのエッチとセンサ22D、24Dは25μ離されている。各薄膜部材上に、センサ22D、24D及びヒータ26Dの半分ずつをもたすことが、同一平面を保証することを助けている。第14図の実施例において、各薄膜部材の大きさは巾150μ、長さ480μであり、ヒータ26Dの抵抗値は1300Ωで、センサ22D、24Dの抵抗値は1050Ωである。この実施例の流れに対する出力特性は、前述した実施例に比べて小さなものである。これは、薄膜部材の下の空気が流れが比較的小さいことと、センサが空気スペースの壁に、より近いためシリコン基板と熱的に密接に結合されていることに起因している。

第15図に示す実施例では、空気スペースを架橋する薄膜部材は1つにより構成されていて、流れは典型的には薄膜部材の流さ方向に合わされる。この薄膜部材の大きさはおよそ巾150μ、長さ480μであり、ヒータ26Eの抵抗値は710Ω、センサ22E、24Eの抵抗値は440Ωである。抵抗値が小さい点と、エレメントが1つの薄膜部材上に配置されている点を除けば、この実施例は実質的に第14図の実施例と同一のものであり、パーマロイ板90Eとリード部92EEは薄膜部材の中心宜に沿つた強度を増し、リード部92Eと92EEは180°の熱的な対称性を与える。

第14図、第15図、に示された実施例におい

ては、ヒータとセンサは薄膜部材の長手方向に沿って配置されており、空気の流れも図示されているように典型的には薄膜部材の長手方向と平行になるように配置される。空気の流れが薄膜部材の横方向に合わされたとき表面の形状で小さな乱流が発生する可能性があるのに対して、これらの実施例の長所は、この小さな乱流を引き起こさない連続的な表面を保証するという点にある。第14図の実施例に関連して述べたように、空気の流れを薄膜部材の長手方向に合わせる実施例の考えられる欠点としては、空気の流れを薄膜部材の横方向に合わせる実施例と比べ、薄膜部材の下

の空気の流れが殆どなくなることである。本センサを製造するプロセスは、(100)の結晶面を有するシリコンウエハーが用いられ、これの表面36には窒化シリコンの絶縁層29が形成される。この絶縁層29は典型的には4000Åの厚さであり、普通の低圧ガス放電のスパッタリング技術により付着され形成される。次に、典型的には80%のニッケルと20%の鉄からなるパーマロイの

一様な層を、800Åの厚さをもつて窒化シリコン膜上に、スパッタリングにより付着させる。適当なフォトリソマスクとフォトリソエッチング液を使うことにより、第2図の22、24、26、38示すようなパーマロイのエレメントが描かれる。

そして2番目の窒化シリコンの絶縁層28が、スパッタにより付着される。この層の厚さは典型的には4000Åであり、抵抗素子を酸化から防ぐために形成される。

薄膜部材32、34を形成するために、開口部82（他の実施例では82A、82C、82D、etcとラベル付されている）が、窒化シリコンを通して(100)結晶面のシリコン表面までエッチングされる。開口部82の大きさは、ほとんど設計上の選択の問題である。破線114（他の実施例では114A、114C、114D、etcとラベル付されている）が空気スペース30のおおよその形状を表わしている。

最後に、窒化シリコンをいためない異方性のエッチング液を使い、制御された方法により、薄膜部材32、34の下

の傾斜面は、エッチング液に対して抵抗性のある(111)あるいは他の結晶面により囲まれている。空気スペース30の底面は、エッチング液に対してほとんど抵抗性のない(100)結晶面であり、薄膜部材32、34から一定の距離すなわち125μmの深さの位置におかれている。この深さは、エッチングの時間を加減することで実現される。空気スペースの深さを制御するために、ホウ素をドーブしたようなエッチングを停止させるストップ層を用いることもできるが、本発明の形成には特に必要ではない。エッチングの時間を加減することで、空気スペース30の深さは約3μmの精度もししくは約2%で制御することになる。この精度が、薄膜部材を取り囲む空気スペースの熱伝達特性と、空気の流れ速度に対する特性の正確な再現性を導き出すことになる。

第3A図に示されるような片持ちばりの薄膜部材の下や、第3図に示されるような架橋する薄膜部材の下を有効的に削り取るために、第2図に110として示される薄膜部材34の直線エッチは、シリコンの〔110〕結晶軸に対して0でない角度112をもつて配置される。（本発明においては、薄膜部材の直線エッチもしくは軸を、シリコン〔110〕結晶軸に対してある角度で配置するという内容も含んでいるが、薄膜部材のエッチを直線に形成しない、もしくは軸が容易に決定できないような形に薄膜部材を形づくることもありうる。しかしながらこれから述べるように、薄膜部材の配置は、このアンダーカットを最小時間で実現するような角度をもつて配置される。）

角度112をほぼ45°とすることによって、薄膜部材の下を削り取る時間に最小とすることができ。更に角度を0°としないことで、第3図に示されるような両端を接続しているブリッジの製作が可能となるのである。すなわちこのような架橋する薄膜部材は、薄膜部材の直線エッチをほぼ〔110〕軸方向に配置させたのでは形成することができない。これは薄膜部材の直線エッチが〔110〕軸方向に配置されていると、この直線エッチに沿ってさらされる(111)結晶面に対して、異方性のエッチング液が削りとつていかないことからきている。

角度112を45°にすると、半導体と薄膜部材

との支持境界面をすばやく丸め、平たんにすることになる。これにより、45°に角度を持たない場合に発生する窒化シリコンの絶縁層29の下2つの(111)結晶面の交差点における応力集中点をなくすることができる。

前述したように、いくつかの応用例においては、2つの薄膜部材を連結手段を用いて連結することが望ましい。(この連結手段としては、例えば第10図の連結部94や第14図の連結部94Dを参照)。第10図において、連結部94は、各々の薄膜部材と空気スペース30の底との間のスペースを一樣に保つように働く。すなわちこれらの間の熱伝達特性の一樣性を保つとともに、デバイス内での特性の均一性を補助するのである。同様な理由により、前述したように1つの薄膜部材上には、抵抗素子を1つもしくはそれ以上の素子を配置するか、1つの素子と他のエレメントの一部を同時に配置させた方が好都合である。(第1, 2, 9, 10, 11, 12, 14, 15図参照)。第9図の薄膜部材32と34の架橋部の両終端にみられる小さなエッチング用の長方形の開口部82は、薄膜部材32と34の下シリコンの基板20のアンダーカットをより形成しやすくするために設けられる。しかしながら、このような小さなエッチング用の長方形の開口部82がなくても、センサの性能は満足される。

第3図及び第3A図には、第4図及び第5図に示されるような回路の集積化のための領域116も示されている。これらに示された実施例において、薄膜部材の典型的な大きさは、巾 $127\mu\sim 178\mu$ 、流さ $254\mu\sim 508\mu$ 、厚さ $0.8\mu\sim 1.2\mu$ である。典型的にはパーマロイからなる、熱感知センサ22, 24、ヒータ26、比較抵抗38は、おおよそ $800\text{ }\Omega$ (典型的には $800\text{ }\Omega$ から $1600\text{ }\Omega$ の間にある)の厚さで、その抵抗値は室温すなわち $20\sim 25^\circ\text{C}$ において、おおよそ $200\Omega\sim 2000\Omega$ の間にある。なおパーマロイの抵抗値は、温度が室温から 400°C になると、おおよそ3倍の値に上昇する。パーマロイ格子の線巾は約 5μ で線間も約 5μ とすることができる。空気スペース30の深さは典型的には 125μ であるが、この深さはおおよそ 25μ から 250μ の間で容易に変えることができる。シリコンの基板20の厚さは、典型的には 200μ である。以上に示したこれらの値は一例にすぎず、これに

限定するものではない。

薄膜部材の大きさが上述の典型的なものであると、熱容量は非常に小さなものとなる。薄膜部材とヒータと熱感知センサの熱容量が極めて小さい点と、これらが窒化シリコン層という薄い絶縁手段により基板に支持されることで熱的に絶縁されている点と、これらを取り囲む空気スペースの存在により、応答時間は非常に短いものとなる。実測されたところでは時定数は 0.005 秒であつた。したがつて熱感知センサが空気の流れの変化に対して非常にすばやく応答できる。また、望むならばヒータを 50Hz もしくはそれ以上の周波数でパルス的に駆動させることも可能となる。

ヒータ26の動作温度は、典型的には $100^\circ\text{C}\sim 400^\circ\text{C}$ の間に設定されるが、望ましい動作温度としては周囲に対しておおよそ 200°C 高く設定する。パーマロイ素子を用いるならば、これはわずか $2\sim 3\text{ mW}$ の電力にて実現できる。こういう電力レベルあれば集積回路で対応できるので、前述したように望むならばセンサとともに同じシリコン基板上に製作することも可能である。

25°C において 600Ω から 1000Ω の間の抵抗を有するヒータ抵抗素子を使うならば、 $2\sim 3\text{V}$ の電圧、 $2\sim 3\text{ mA}$ の電流を用いることで適切な動作温度になるための電力消費を与えることになる。又、本実施例において、パーマロイのヒータ素子の抵抗値を 600Ω から 1000Ω の間に選択したのは、エレクトロマイグレーションによる素子の損傷という因子もあるからである。エレクトロマイグレーションとは電流密度がある臨界値を越えるとき、物質の移動によつて引き起こされる導体内部の損傷メカニズムであり、温度に依存している。パーマロイに関してのこの臨界値は 25°C において $10\times 10^6\text{ A/cm}^2$ のオーダーである。望ましい実施例として、ヒータ素子の抵抗値は典型的には $600\Omega\sim 1000\Omega$ 、線巾は 5μ 、そして厚さは 0.08μ に設定されているので、電流密度は実質的に約 $0.6\sim 10^6\text{ A/cm}^2$ より小さなものとなる。この程度の電流密度では、エレクトロマイグレーションは有害な因子ではない。

工業上で用いられている標準の温度センサのインピーダンスは 100Ω 程度である。しかしながら本発明の目的からして、そのような小さい抵抗値のセンサは、本発明の実施例において用いられて

いる25℃で600Ω～1000Ωの抵抗値を有し厚さが
 おおよそ0.08μのものに比べて、望ましいもの
 ではない。例えば、製造する上で、上流と下流に位
 置する2つの熱感知センサの抵抗値は0.1%の程
 度の精度で一致させることが望ましい。この一致
 は、より高い抵抗値を使うことでより容易とな
 る。その上より高い抵抗値のセンサを用いれば、
 シリコンチップ上のリード部に関する抵抗値の
 違いとつた望ましくない影響も減ずることができ
 る。更に、空気の流れがわずかに変化したこと
 による電圧の変化を、小さな電流で正確に得るこ
 とにするためには、より高い抵抗を使うことが必要
 となってくる。加えるに、小さな電流を使えば、
 熱感知センサ自身の自己発熱を避けることができ
 る。この場合、この熱感知センサの自己発熱は、
 ヒータの熱の場を変化させ、空気の流れに対する
 温度感度を減少させるのであるが、そうひどい影
 響とはならない。加えるに、熱感知センサに流れ
 る電流が大きくなると、空気の流れがないときの
 2つのセンサの間の色々な不一致といった望まし
 くない影響を大きくしてしまうことになる。

製造上の目的からすれば、ヒータと熱感知セン
 サの両方のパーマロイの厚さを同じに選べば、よ
 り簡単になり、より経済的になる。この観点から、
 前述したように本実施例でも、ヒータと熱感知
 センサの抵抗値は、典型的には0.08μ厚のパー
 マロイにより似たような値であるとともに容易に
 実現できる値となつている。

沢山の計画中の応用に関しても、本発明の望ま
 しい素子は、前述したきたように、パーマロイの
 抵抗素子である。薄膜部材32、34が薄い窒化
 シリコン層に包まれているので、パーマロイ素子
 は空気による酸化から防がれて、400℃を越す温
 度のヒータ素子としても用いることが可能となる。
 このパーマロイ素子の抵抗の温度依存性は白金
 と類似しており、どちらも0℃において4000ppm
 の抵抗温度係数を有している。しかしながら、
 本発明の構造に対しては白金よりもパーマロイ
 の方が優れている。白金も温度検知用の抵抗
 素子として普通に使われているが、パーマロイ
 白金のおおよそ2倍の抵抗値を有するという利点
 がある。しかも、薄膜状でみるならば、パーマロイ
 の抵抗温度係数は800～1600Åの厚さで最大をと
 るが、一方、白金は少なくとも3500Åの厚さにな

つてしまう。パーマロイの抵抗温度係数はおおよ
 そ1600Åの厚さで最大となるが、本発明で800Å
 を選んだのは、抵抗値が2倍になる点と、抵抗温
 度係数も1600Åの値からわずかに小さいにすぎな
 いからである。従つて800Åの厚さのパーマロイ
 素子を用いることで、白金に要求されるわずか1/
 8の表面積で同じ抵抗値を実現できることになる。
 すなわち、パーマロイを使うことでヒータとセン
 サの熱効率を増せるとともに、要求される表面積
 を小さくできるので価格も下げられることにな
 る。

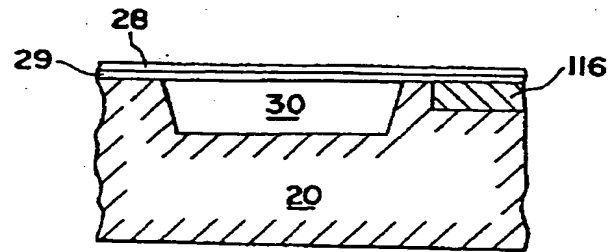
すなわち、本発明においては、開示したよう
 に、パーマロイ素子は微小構造の温度変化検出セ
 ンサ素子とヒータ素子の両方に用いられる。

更にパーマロイからなるヒータとセンサを1μ
 程度の厚さの窒化シリコンの絶縁層中に包み込む
 ことで、特に高い温度で問題となる酸化の現象に
 対しての保護膜を提供している。窒化シリコンの
 絶縁層は、シリコン基板からパーマロイ素子を熱
 的に絶縁する機能も有する。そして窒化シリコン
 は、エッチングに対して高い抵抗性を有している
 ことから、薄膜部材32、34の寸法を精度よく
 コントロールすることもできる。更に、この窒化
 シリコンの有しているエッチングに対して高い抵
 抗性の特性から、空気スペース30の深さをエツ
 チングにより25～250μといったように深くでき
 ることになる。この空気スペースは、最も重要で
 ある熱伝達因子を決定する。

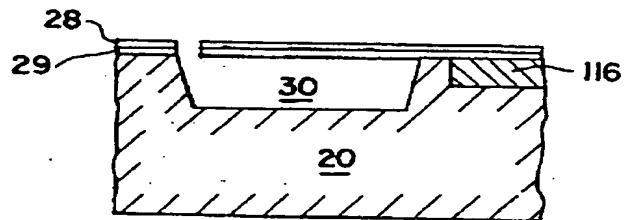
以上のように、本発明の望ましい実施例として
 は、開示したような微小構造とのかね合いから、
 パーマロイで熱感知センサとヒータを形成する。
 窒化シリコンの絶縁層は支持用材料として、また
 望む構造を形成するために必要なエッチング時間
 を実現するための保護的材料として用いられる。
 更に前述したように、薄膜部材をシリコン結晶面
 に対して適切に配向させることで、人工的なエツ
 チング停止手段を使うことなく望む構造を形成で
 けるとともに、最小時間で削りとることができる
 ことになる。更に、異方性のエッチングを用いる
 ことで25～250μといった深い空気スペースを形
 成することにより、抵抗素子を集積化半導体デバ
 イスに普通に配置する方法に比べて、大きな熱的
 絶縁が実現されることになる。

本発明の要旨は、実施例に述べてきたものに限

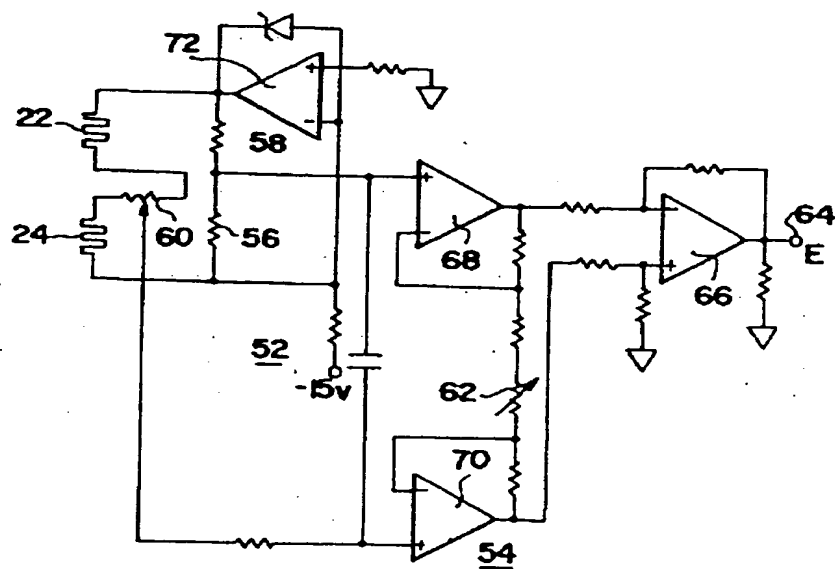
第3図



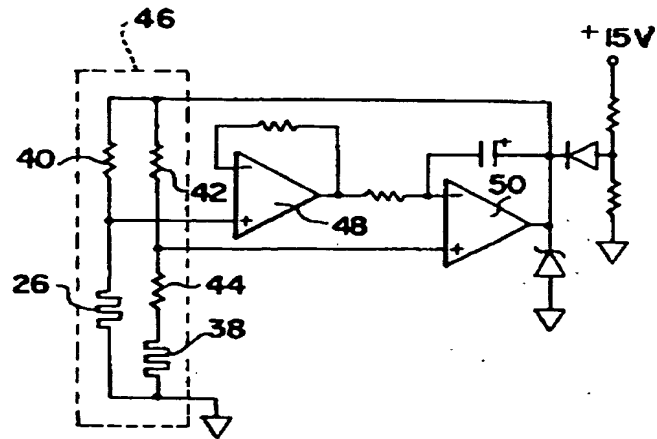
第3図 A



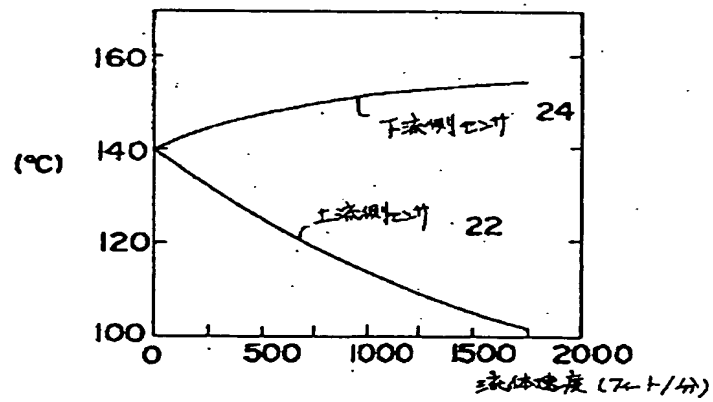
第5図



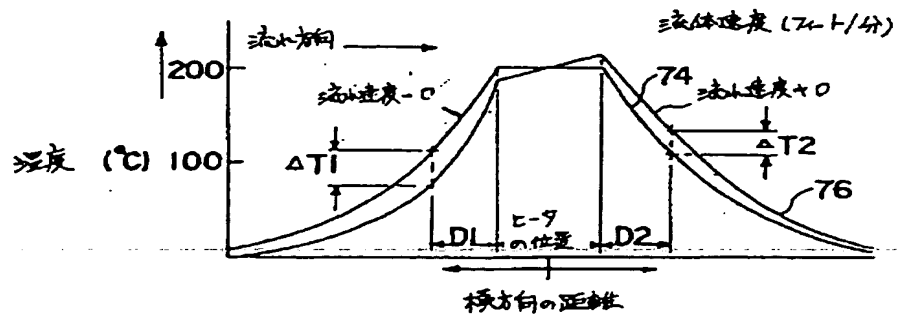
第4図



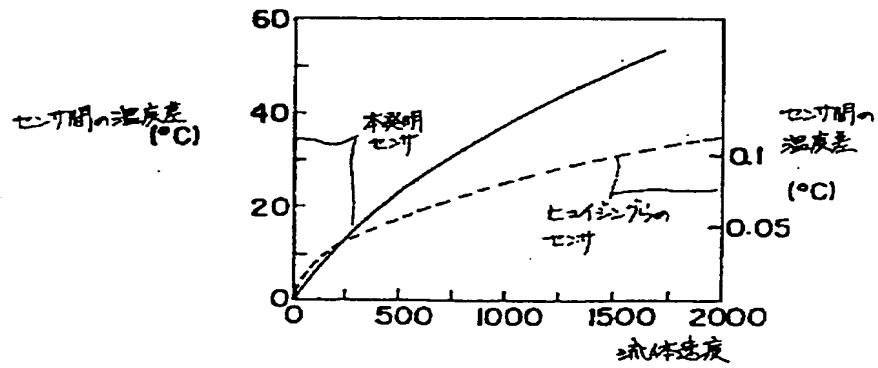
第6図



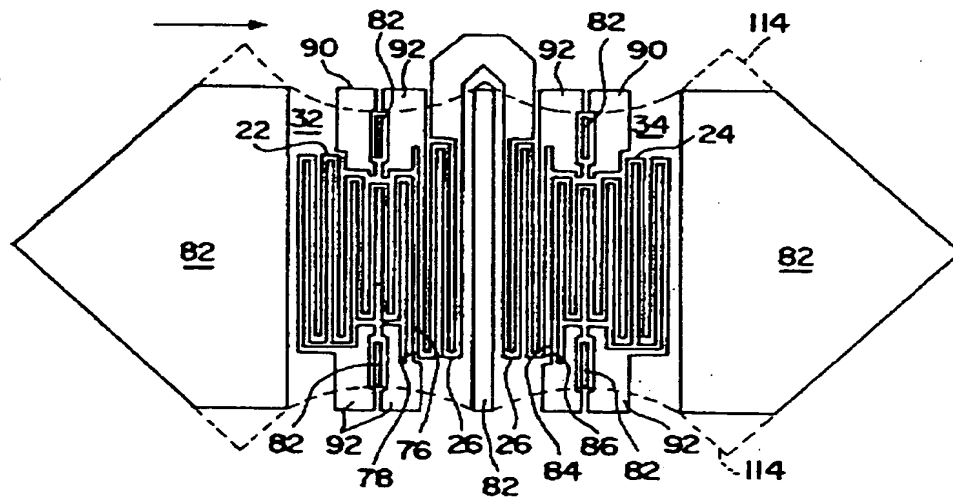
第7図



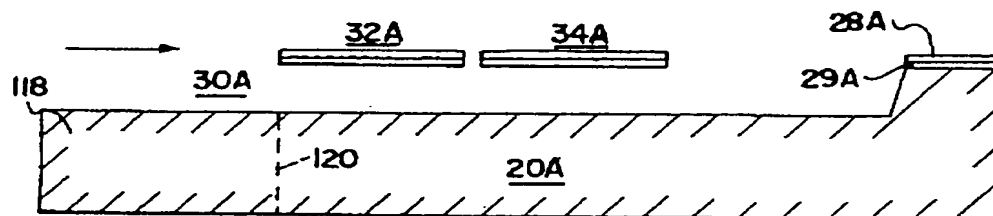
第 8 図



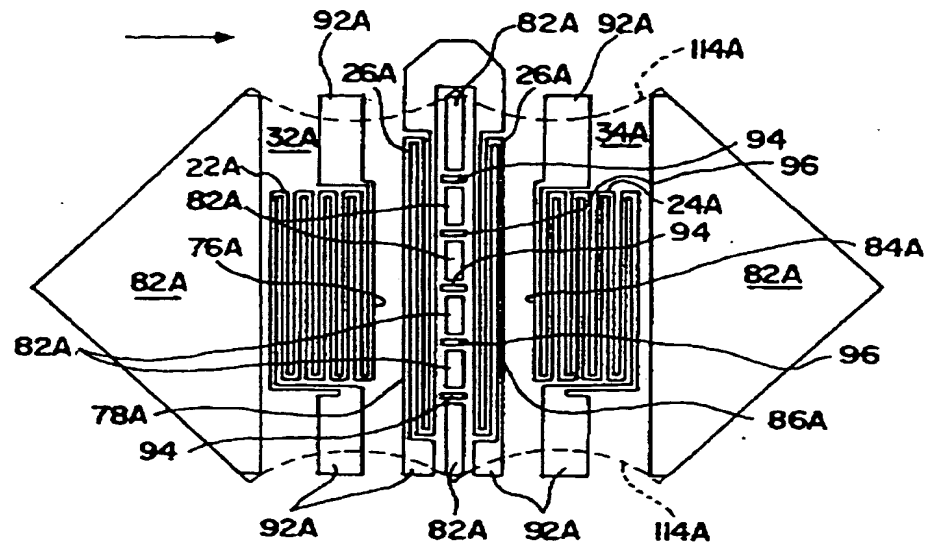
第 9 図



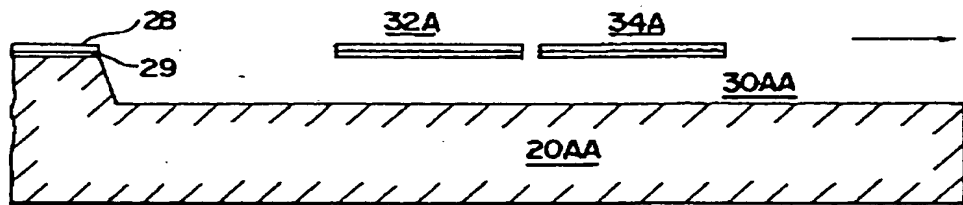
第 11 図



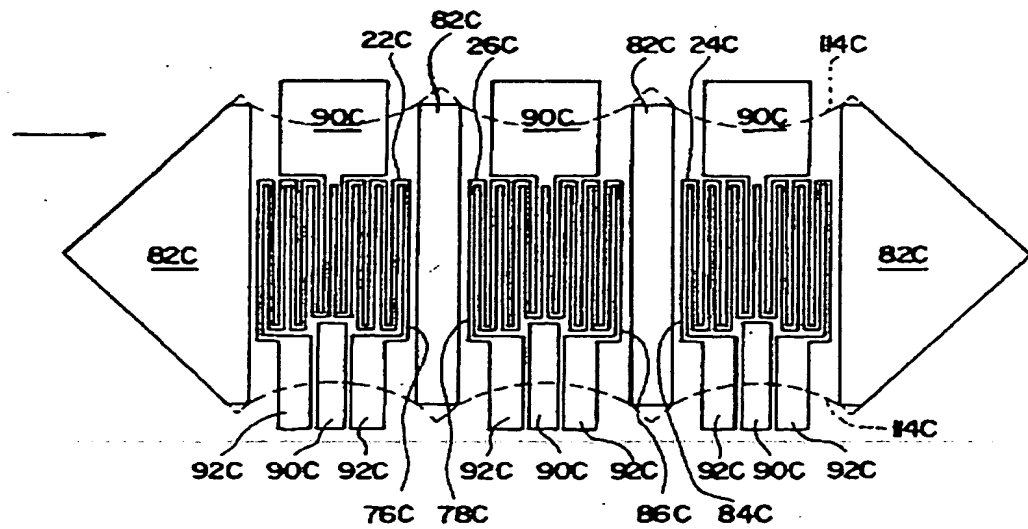
第 10 图



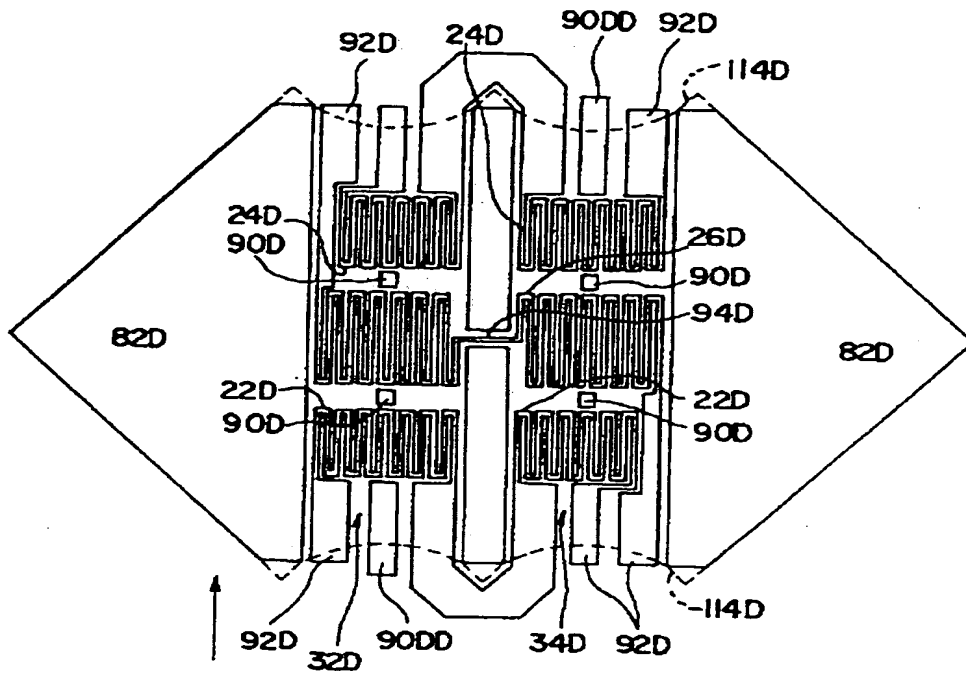
第 12 图



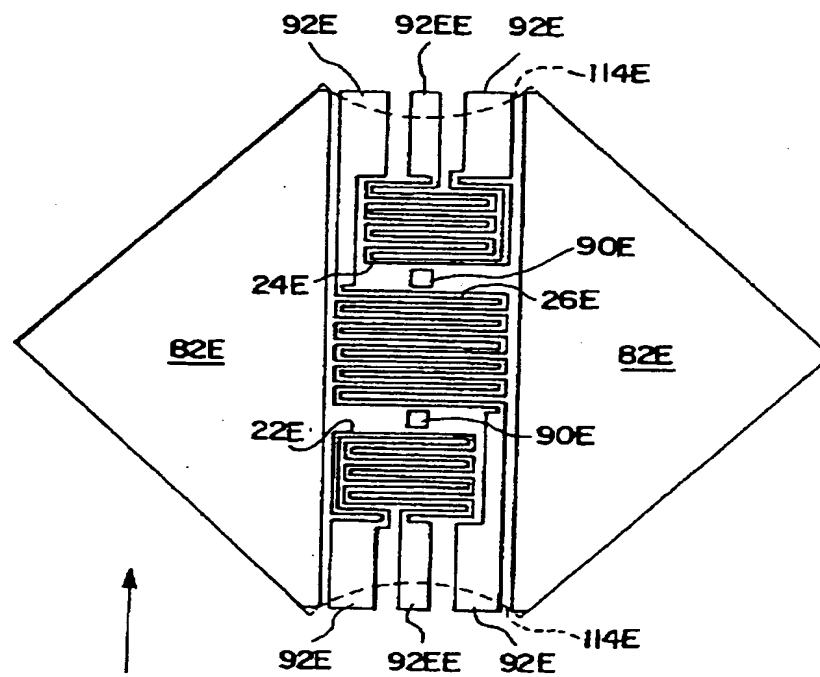
第 13 图



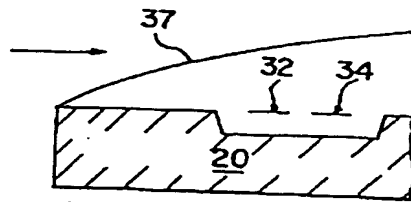
第 14 図



第 15 図



第 16 図



第 17 図

